



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 30 439 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:  
**G 03 B 7/08**  
G 03 B 37/02  
H 04 N 5/238

②① Aktenzeichen: 101 30 439.0  
②② Anmeldetag: 23. 6. 2001  
④③ Offenlegungstag: 2. 1. 2003

DE 101 30 439 A 1

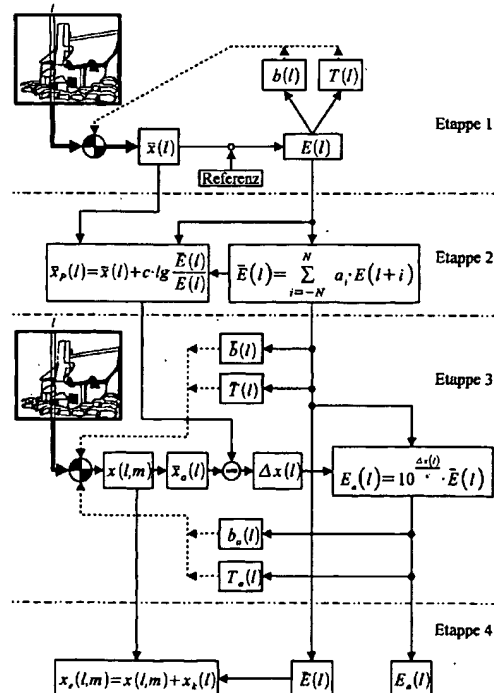
⑦① Anmelder:  
Clauß, Ulrich, Dr.-Ing., 08297 Zwönitz, DE

⑦② Erfinder:  
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Belichtungsautomat für abtastende Objektaufnahmen

⑤⑦ Im Unterschied zu bekannten Belichtungsregelungen, die von einer zeitlich und geometrisch begrenzten Bildaufnahme ausgehen, wird das neue Verfahren mit der beschriebenen Anordnung den Besonderheiten einer abtastenden Objektaufnahme gerecht, indem sowohl die zeitliche wie auch die räumliche Ausdehnung des Abbildungsprozesses methodisch berücksichtigt werden. Während der Bildaufnahme erfolgt für jedes Teilbild eine Angleichung der Blendenöffnung und/oder der Belichtungszeit für eine optimale Belichtung des Bildwandlers. Nach erfolgter Bildaufnahme wird die benutzte Blendenöffnung und/oder die Belichtungszeit zum Zwecke einer anschließenden Dynamik-Dekompression und Korrektur der aufgezeichneten Helligkeitswerte ausgewertet. Zur Realisierung des Verfahrens ist eine zentrale Programmsteuerung mit dem reversiblen Bewegungsantrieb für den Abtastvorgang, mit Steuereingängen für die Blendenöffnung und/oder für die Belichtungszeit und einem Daten-Schreib-Lese-Speicher sowie mit einem Lichtmesssensor verbunden. Die Erfindung ist für beliebige fotografische oder fotoelektrische Objektaufnahmen im Raum, bei denen der Abbildungsvorgang in einer zeitlichen Abfolge von Teilbildern erfolgt, insbesondere für Panoramakameras mit rotierenden Zeilen- oder Matrixkameras, geeignet.



DE 101 30 439 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft beliebige fotografische oder fotoelektrische Objektaufnahmen im Raum, bei denen der Abbildungsvorgang nicht gleichzeitig für das gesamte Bild, sondern in einer zeitlichen Abfolge von Teilbildern, wie Streifen oder Punkteformationen, erfolgt. Bezogen auf die moderne elektronische Bilderfassung trifft dies insbesondere für Panoramakameras mit rotierenden oder auf einer Bewegungsbahn verschobenen Zeilen- oder Matrixkameras oder auch für sonstige Scanner zu, bei denen eine Relativbewegung zwischen abzubildendem Objekt und abbildendem Aufnahmesystem zur Bildaufnahme auf einer realen oder virtuellen Oberfläche führt. Dabei kann der Abbildungsprozess auf fotochemischen (z. B. fotografischer Film) oder fotoelektrischen Umwandlungen (z. B. CCD-Zeile) beruhen.

[0002] Zur Speicherung eines fotografischen Bildes sind die, im Folgenden zusammenfassend als Wandler bezeichneten, Medien darauf angewiesen, dass die auf sie einwirkende Lichtmenge innerhalb eines begrenzten, physikalisch bedingten, Arbeitsbereiches liegt. Dieser Arbeitsbereich und die zugehörige Übertragungsfunktion wird allgemein durch die Gradationskurve beschrieben. Werden deren Grenzen überschritten, so sind in der Abbildung keine Objekte mehr voneinander unterscheidbar.

[0003] Im Unterschied zu flächig wirkenden Abbildungsverfahren, wo die gesamte Bildfläche durch ein Abbildungsobjektiv während eines zeitlich begrenzten Intervalls belichtet wird, gelten bei abtastenden Abbildungsverfahren folgende Besonderheiten:

1) Wegen der zeitlichen Ausdehnung des Abbildungsprozesses über aufeinanderfolgende Einzelabbildungen können sich Belichtungsverhältnisse während der Aufnahme verändern.

2) Wegen der räumlichen Ausdehnung des Abbildungsprozesses können außergewöhnlich große Unterschiede in der partiellen Lichtintensität auftreten. So müssen Lichtquellen bei Vollkreis-Panoramaaufnahmen oftmals zwangsläufig mit im Bildbereich liegen. Allein dies führt zu einer sehr großen Belichtungsdynamik, die technisch realisierbare Wandler allgemein überfordert.

[0004] Obwohl die genannten Probleme, gerade auf dem Gebiet der Panoramafotografie, ein wichtiges Hindernis bei deren praktischem Einsatz darstellen, sind derzeit keine spezifischen Verfahren oder Anordnungen zu ihrer Lösung bekannt.

[0005] Von der allgemeinen Fotografie, Film- und Video-Aufnahmetechnik mit begrenzten Bildaufnahmewinkeln her sind zahlreiche Lösungsansätze zur optischen Belichtungsregelung bekannt, denen gemeinsam ist, dass sie einen Echtzeit-Regelkreis bilden, bei dem in den Grenzen des Bildausschnitts die auf den Wandler wirkende mittlere Lichtmenge als Regelgröße und die gesteuerte Blendenöffnung im Zusammenspiel mit der Belichtungszeit als Steuergröße wirken. Die Gradation, bzw. Sensibilität, des Wandlers bestimmt die Führungsgröße. Zur Gewinnung der Regelgröße wird entweder das Signal des Wandlers selbst oder das eines zusätzlichen Wandlers in einem adäquaten Parallelkreis ausgewertet. Auf dieses Grundprinzip bauen auch viele der bekannten Blendenantriebe auf, die wie analoge Meßwerke arbeiten und nur über den ständig wirkenden Regelkreis beherrschbar sind.

[0006] Für abtastende Objektaufnahmen sind solche Verfahren ungeeignet, weil die zu einem bestimmten Zeitpunkt direkt auswertbaren Belichtungsinformationen entweder nur von einem kleinen Teil der gesamten Bildfläche stammen können und somit im Regelfall nicht repräsentativ sind, oder im Falle einer zusammenfassenden Lichtmessung für den gesamten Abtastbereich den für die Bildaufnahme im Allgemeinen zu großen Dynamikumfang nicht senken können.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur automatischen Belichtungssteuerung zu entwickeln, das den Besonderheiten einer abtastenden Objektaufnahme gerecht wird und dieses mit Hilfe einer geeigneten technischen Anordnung zu realisieren.

[0008] Diese Aufgabe wird mit der in den Patentansprüchen 1 und 9 gekennzeichneten Erfindung gelöst. Weitere Ausgestaltungen sind in den übrigen Patentansprüchen gegeben.

[0009] In der nachfolgenden Beschreibung werden die Blendenöffnung  $b$  und die Belichtungs- oder Integrationszeit  $T$  zur Belichtungsbedingung  $E$  zusammengefasst, wobei allgemein die Beziehung

$$E = \frac{T}{d^2}$$

gelte. Ist von einer Änderung der Belichtungsbedingung die Rede, so ist die Änderung der Blendenöffnung und/oder der Belichtungszeit in entsprechender Weise gemeint. Aus Gründen der technischen Realisierbarkeit sind Belichtungszeit und Blendenöffnung oft nur in vorgegebenen diskreten Stufen einstellbar, was dann auch für die Belichtungsbedingung  $E$  als errechnete Größe gilt.

[0010] Erfindungsgemäß besteht eine Bildaufnahme aus vier aufeinanderfolgenden Etappen, die nachfolgend erläutert werden:

1) Bestimmung eines Helligkeitsprofils entlang der Abtastrichtung. Während einer Grobabtastung wird ein repräsentativer, im Allgemeinen mittlerer, Helligkeitswert  $x(l)$  für jedes  $l$ -te Teilbild im gesamten Bildfeld erfasst. Diese Erfassung kann mit einem besonders dafür vorgesehenen Lichtsensor, oder aus dem Signal des Bildwandlers selbst, erfolgen.

Um den stetigen Übertragungsbereich des Lichtsensors oder Wandlers nicht zu überschreiten, wird hierbei nicht das äquivalente Sensorsignal in direkter Form als Funktion der Abtastung gespeichert, sondern dessen Größe durch Variation der Belichtungsbedingung möglichst konstant auf einem mittleren Wert gehalten, während die sich dabei für jedes Teilbild ergebenden Belichtungsbedingungen mit den Helligkeitswerten als Profil gespeichert werden. Dieser Vorgang ist also für jedes Teilbild zunächst mit dem Prinzip der bekannten Belichtungsregelung vergleichbar, bei der die auf den Wandler wirkende Lichtmenge als Regelgröße mittels Blendenöffnung und Belichtungszeit als Steu-

ergröße konstant gehalten wird.

Da dieser Vorgang wegen der wesentlich kleineren Informationsdichte in der Regel schneller abläuft, als die eigentliche Bildaufnahme, ist hierbei auch die Wahrscheinlichkeit zwischenzeitlicher Beleuchtungsänderungen während der Profilaufzeichnung gering. Falls solche Änderungen dennoch auftreten, ist der Vorgang wiederholbar. In komplizierten Aufnahmesituationen können mehrere nachfolgend aufgenommene Einzelprofile zu einem gefilterten repräsentativen Helligkeitsprofil mathematisch zusammengeführt werden. 5

Im Ergebnis dieser 1. Etappe liegen die Belichtungsbedingungen  $E(l)$  als diskrete Funktion der aufsteigenden Teilbild-Nummer  $l$ , sowie die unter diesen Bedingungen erhaltenen repräsentativen Helligkeitswerte  $\bar{x}(l)$  vor.

2) Nachbereitung des Helligkeitsprofils.

Die erhaltene Funktion der Belichtungsbedingung  $E(l)$  ist unregelmäßig, weil sie stark von lokalen Besonderheiten in den Teilbilder abhängt. Würde die Bildaufnahme unter diesen Belichtungsbedingungen durchgeführt, wären auffällige Bildartefakte die Folge. Deshalb muss diese Funktion jetzt einen Tiefpass durchlaufen, der lokal begrenzte Abweichungen weitestgehend eliminiert. Das dabei erhaltene Ausgangssignal  $\bar{E}(l)$  muss in der Regel erneut in physikalisch vorhandene Stufen diskretisiert werden. Nach dieser Filterung, die für viele Teilbilder eine neue Belichtungsbedingung erzeugt, werden jetzt die zugehörigen Helligkeitswerte rechnerisch für den Fall angeglichen, als hätte die Grobabtastung bereits mit der gefilterten Belichtungsbedingung für das jeweilige Teilbild stattgefunden. 10  
Für eine, üblicherweise logarithmisch verlaufende, Gradationskurve lautet die Rechenvorschrift für die angegliche Helligkeit beispielsweise 15

$$\bar{x}_p(l) = \bar{x}(l) + c \lg \frac{\bar{E}(l)}{E(l)}, \quad 20$$

wobei  $c$  eine Konstante ist.

3) Die Bildaufnahme erfolgt mit den ermittelten Belichtungsbedingungen. Gleichzeitig wird die mittlere Helligkeit jedes aufgenommenen Teilbildes  $\bar{x}_a(l)$  mit der errechneten Helligkeit  $\bar{x}_p(l)$  verglichen. Erreicht die Abweichung bei der Helligkeiten  $\Delta x(l) = \bar{x}_a(l) - \bar{x}_p(l)$  eine signifikante Größe, so bedeutet das eine Veränderung der Beleuchtungsverhältnisse für das Objekt, also einen Belichtungsartefakt im Bild. Um das zu verhindern, erfolgt ein Nachgleich der Belichtungsbedingungen auf einen korrigierten Wert  $\bar{E}_a(l)$  in der Weise, dass die errechnete Differenz minimiert wird. Um später alle Korrekturen reproduzieren zu können, werden diese mit den Bilddaten gespeichert. Alternativ kann die Aufnahme für betroffene Teilbilder auch so lange wiederholt werden, bis die früheren Aufnahmebedingungen wiederhergestellt sind und eine erkannte Abweichung wieder verschwindet. 25

4) Das aufgenommene Bild wird anhand der gespeicherten Belichtungsbedingungen und der Differenzen zur Grobabtastung in zweckmäßiger Weise korrigiert. 30

In Folge der meist nur stufenweise einstellbaren Belichtungsbedingungen, sowie der während der Aufnahme aufgetretenen Veränderungen bei der Objektbeleuchtung wurden während der Bildaufnahme Artefakte entlang der Abtastrichtung erzeugt. Zum Ausgleich der Stufenartefakte wird eine sägezahnähnliche Funktion überlagert, die im Zeitpunkt der stufigen Übergänge jeweils entgegengesetzte Stufen zur vollständigen Kompensation und in den Zwischenräumen stetige Funktionen zur allmählichen Angleichung besitzt. In der Folge werden alle steilen Übergänge im Bild, die von den veränderten Belichtungsbedingungen verursacht wurden, so verteilt, dass sie nicht mehr als solche wahrgenommen werden. Bestehen die Teilbilder aus mehr als einer Bildpunktspalte in Abtastrichtung, so wird die allmähliche Angleichung zwischen den steilen Übergängen auf alle vorhandenen Bildpunktspalten verteilt. Werden partielle Häufungen von Abweichungen  $\Delta x(l)$  erkannt, so deutet dies auf Veränderungen der Objektbeleuchtung während der Aufnahme gegenüber der vorhergehenden Grobabtastung hin. Bei der Bildaufnahme selbst wurden diese mit den oben beschriebenen Algorithmen bereits ausgeglichen. Dennoch können solche Veränderungen während der Aufnahme zu nicht korrigierbaren Verfälschungen des Bildes führen, z. B. durch veränderte Schattenbildung oder Verschiebung der Farbtemperatur. Die aufgezeichneten Abweichungen lassen sich deshalb als wichtiges Kriterium dafür verwenden, in welchen Teilbildern solche Verfälschungen zu erwarten sind, um sie ggf. wiederholt aufzuzeichnen. 35  
40  
45  
50

[0011] Mit der einschränkenden Annahme, dass die Beleuchtungsverhältnisse während der Aufnahme ausreichend konstant sind und der Anteil der Teilbildausschnitte am Gesamtbild genügend groß ist, um auf nachfolgende Tiefpassfilterungen zu verzichten, ist die Vereinfachung des beschriebenen Verfahrens in folgender Weise möglich:

- 1) Das Helligkeitsprofil wird nicht innerhalb einer vorausgehenden Grobabtastung, sondern unmittelbar während der Bildaufnahme gewonnen, indem die bei jeder Teilbildaufnahme verwendete Belichtungsbedingung gespeichert und die damit aufgezeichnete Bildinformation ausgewertet wird. 55
- 2) Die Tiefpassfilterung und somit auch die Neuberechnung der Helligkeitswerte entfällt.
- 3) Während der Bildaufnahme werden die Belichtungsbedingungen so gewählt, dass eine optimale Belichtung für jedes einzelne Teilbild erfolgt, und für jedes Teilbild gespeichert. 60
- 4) Die Korrektur des Gesamtbildes erfolgt in der beschriebenen Weise.

[0012] Anhand eines Ausführungsbeispiels sollen das beschriebene Verfahren und eine dafür geeignete Anordnung jetzt näher beschrieben werden.

[0013] Fig. 1 zeigt eine Panoramakamera nach dem Prinzip einer mittels Drehantrieb (4) rotierenden Zeilenkamera (3) mit einem CCD-Zeilensensor (2), die entlang der bogenförmigen Abtastrichtung eine Folge von Teilbildern an die nachgeschaltete Rechnerstruktur (5) überträgt. Im Objektivstrahlengang der Zeilenkamera befindet sich ein Blendenmechanismus (1) mit motorischem Antrieb. Die Integrationszeit des CCD-Sensors ist in festen Schritten veränderbar. Der Blendenmechanismus (1) mit motorischem Antrieb. Die Integrationszeit des CCD-Sensors ist in festen Schritten veränderbar. Der Blendenmechanismus (1) mit motorischem Antrieb. Die Integrationszeit des CCD-Sensors ist in festen Schritten veränderbar. 65

denmotor, die Belichtungszeit, der Rotationsmotor für die Abtastbewegung, die Bildaufnahme vom CCD-Sensor, sowie alle weiteren Funktionen der Panoramakamera werden von einer zentralen Steuerung innerhalb der angeschlossenen Rechnerstruktur ausgeführt.

5 **[0014]** Fig. 2 stellt das innerhalb der Rechnerstruktur als Software realisierte Verfahren mit zugehörigen Rechenregeln innerhalb des Signalfusses schematisch dar.

**[0015]** Während der Grobabtastung in Etappe 1 wird die Gesamthelligkeit  $\bar{x}(l)$  jedes Teilbildes  $l$  bestmöglich an einen Referenzwert angeglichen, indem die Blende  $b(l)$  und die Belichtungszeit  $T(l)$  entsprechend variiert werden. Die daraus berechnete Belichtungsbedingung  $E(l)$  wird gemeinsam mit  $\bar{x}(l)$  als Helligkeitsprofil abgespeichert.

**[0016]** Nach einer Tiefpassfilterung mit der Funktion

$$10 \quad \bar{E}(l) = \sum_{i=-N}^N a_i E(l+i)$$

15 erfolgt in Etappe 2 eine Angleichung der Helligkeitswerte mit

$$20 \quad \bar{x}_p(l) = \bar{x}(l) + c \lg \frac{\bar{E}(l)}{E(l)} .$$

**[0017]** Bei der Bildaufnahme in Etappe 3 wird das gesamte Objekt, diesmal mit der erforderlichen geometrischen Bildauflösung, erneut abgetastet, wobei zunächst die vorher errechneten Belichtungsbedingungen  $\bar{E}(l)$  eingestellt werden. Mit der aus den abgetasteten Bildpunkt-Helligkeiten  $x(l,m)$  errechneten Gesamthelligkeit  $\bar{x}_a(l)$  wird die Differenz  $\Delta x(l)$  zur zuvor errechneten prädiktiven Helligkeit  $\bar{x}_p(l)$  bestimmt. Übersteigt diese Differenz einen Schwellenwert, so werden  
25 die Belichtungsbedingungen über

$$E_a(l) = 10^{\frac{\Delta x(l)}{c}} \bar{E}(l)$$

30 erneut nachgeglichen.

**[0018]** Schließlich erfolgt in Etappe 4 die Korrektur der Helligkeitswerte zur Eliminierung von Artefakten.

**[0019]** In Fig. 3 wird die abschließend beaufschlagte Korrekturfunktion  $x_k(l)$  (d) als Fragment schematisch dargestellt. Hierbei skizzieren (a) die mittlere Helligkeit, die sich als Funktion  $\bar{E}(l)$  manifestiert, (b) den qualitativen Blendenverlauf  $\bar{b}(l)$  und (c) die am Wandler wirksame mittlere Helligkeit  $\bar{x}_a(l)$ . Die errechnete Korrekturfunktion kompensiert die  
35 Sprünge im Blendenverlauf so, dass für die damit korrigierte mittlere Helligkeit  $\bar{x}_a(l)$  eine Nulllinie verbleibt.

#### Patentansprüche

1. Verfahren einer Belichtungsautomatik für abtastende Objektaufnahmen im Raum, bei denen der Abbildungsvorgang nicht gleichzeitig für das gesamte Bild, sondern in einer zeitlichen Abfolge für Teilbilder, wie Streifen oder Punkteformationen, erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, dass während der Bildaufnahme für jedes Teilbild eine Angleichung der Blendenöffnung und/oder der Belichtungszeit für eine optimale Belichtung des Bildwandlers erfolgt und dass nach erfolgter Bildaufnahme die benutzte Blendenöffnung und/oder die Belichtungszeit zum Zwecke einer anschließenden Dynamik-Dekompression und Korrektur der aufgezeichneten Helligkeitswerte ausgewertet oder  
40 neben der Bildinformation gespeichert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der eigentlichen Bildaufnahme wenigstens eine Grobabtastung zur Erfassung und Speicherung der integralen Gesamthelligkeiten dieser Teilbilder als Helligkeitsprofil entlang der Abtastrichtung vorausgeht, woraus die optimale Blendenöffnung und/oder die optimale Belichtungszeit für jedes dieser Teilbilder vorab bestimmt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass bereits während der Grobabtastung durch Variation der Blendenöffnung und/oder der Belichtungszeit der sich ergebende Belichtungsbereich für jedes Teilbild innerhalb der optimalen Aussteuerung der nutzbaren Gradation des Bildwandlers stabilisiert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass als integrale Gesamthelligkeit ein Mittelwert aller im gesamten Teilbild bestimmten Einzelhelligkeiten bestimmt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass das während der Grobabtastung bestimmte Belichtungsprofil einer Tiefpassfilterung unterzogen wird, bevor es zur Steuerung der Blendenöffnung und/oder der Belichtungszeit während der Bildaufnahme benutzt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass während der Bildaufnahme für jedes gerade abgetastete Teilbild erneut die integrale Gesamthelligkeit ermittelt und mit der bei der vorherigen Grobabtastung bestimmten Gesamthelligkeit verglichen wird, woraus bei signifikanter Abweichung eine Nachkorrektur der Blendenöffnung und/oder der Belichtungszeit für das gerade abgetastete Teilbild erfolgt.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die aufgrund von stufenweisen Veränderungen der Blendenöffnung und/oder der Belichtungszeit während der Aufnahme zwischen den Teilbildern auftretenden Helligkeitssprünge während oder nach der Aufnahme durch Addition einer sägezahnähnlichen Korrekturfunktion ausgeglichen werden.
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass anstelle eines farbindifferenten Helligkeitssignales die Helligkeitsinformationen spektraler Teilkomponenten in der beschriebenen Art und Weise einzeln behandelt werden.

9. Anordnung einer Belichtungsautomatik für abtastende Objektaufnahmen im Raum, bei denen der Abbildungsvorgang nicht gleichzeitig für das gesamte Bild, sondern in einer zeitlichen Abfolge für Teilbilder, wie Streifen oder Punkteformationen, erfolgt, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine zentrale Programmsteuerung aufweist, die mit dem reversiblen Bewegungsantrieb für den Abtastvorgang, mit Steuereingängen für die Blendenöffnung und/oder für die Belichtungszeit und einem Daten-Schreib-Lese-Speicher verbunden ist und dass sie einen Lichtmesssensor aufweist, dessen geometrischer Empfangsbereich dem Abtastvorgang folgt. 5

10. Anordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtmesssensor mit dem Bildwandler identisch ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

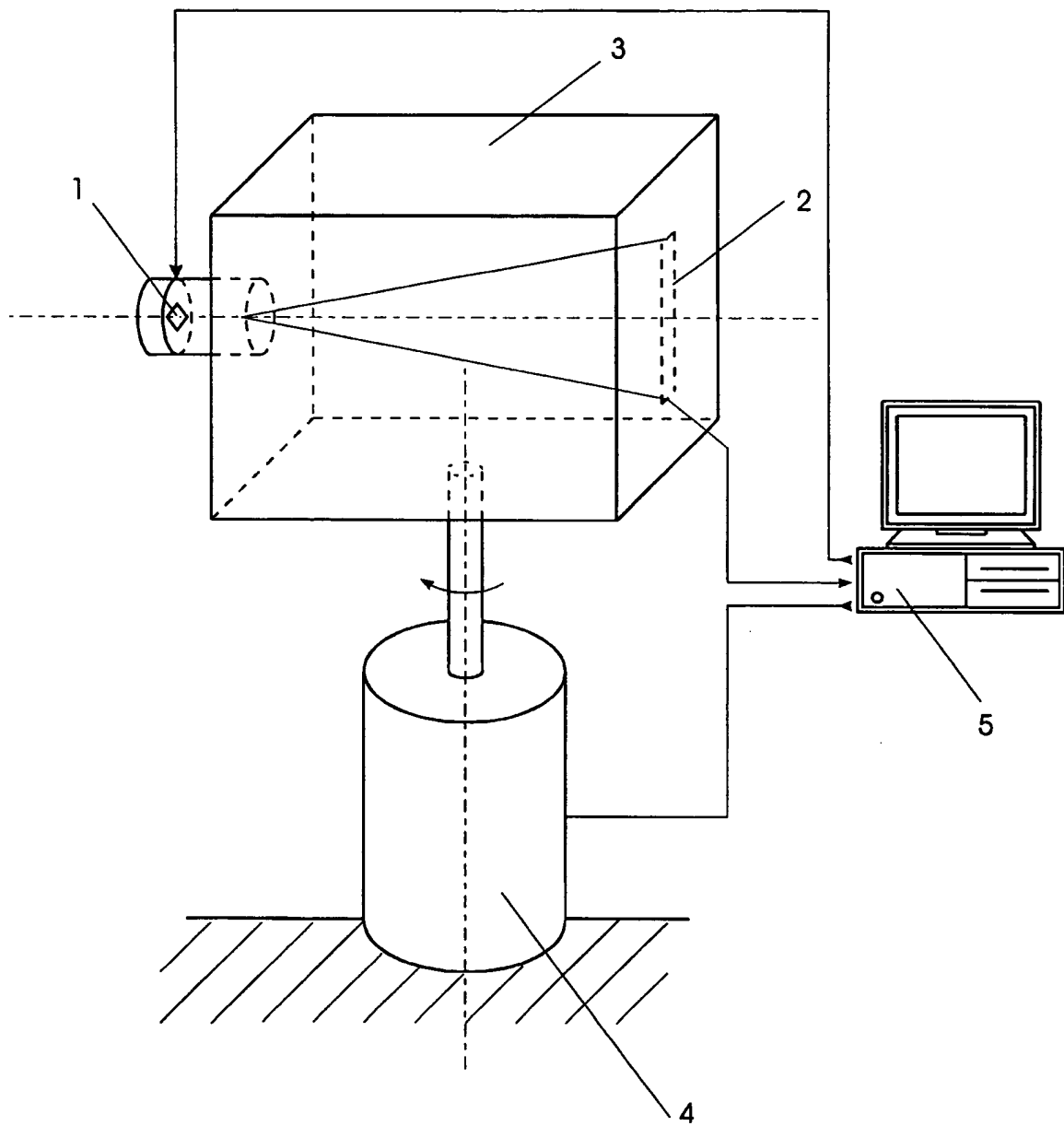


Fig. 1

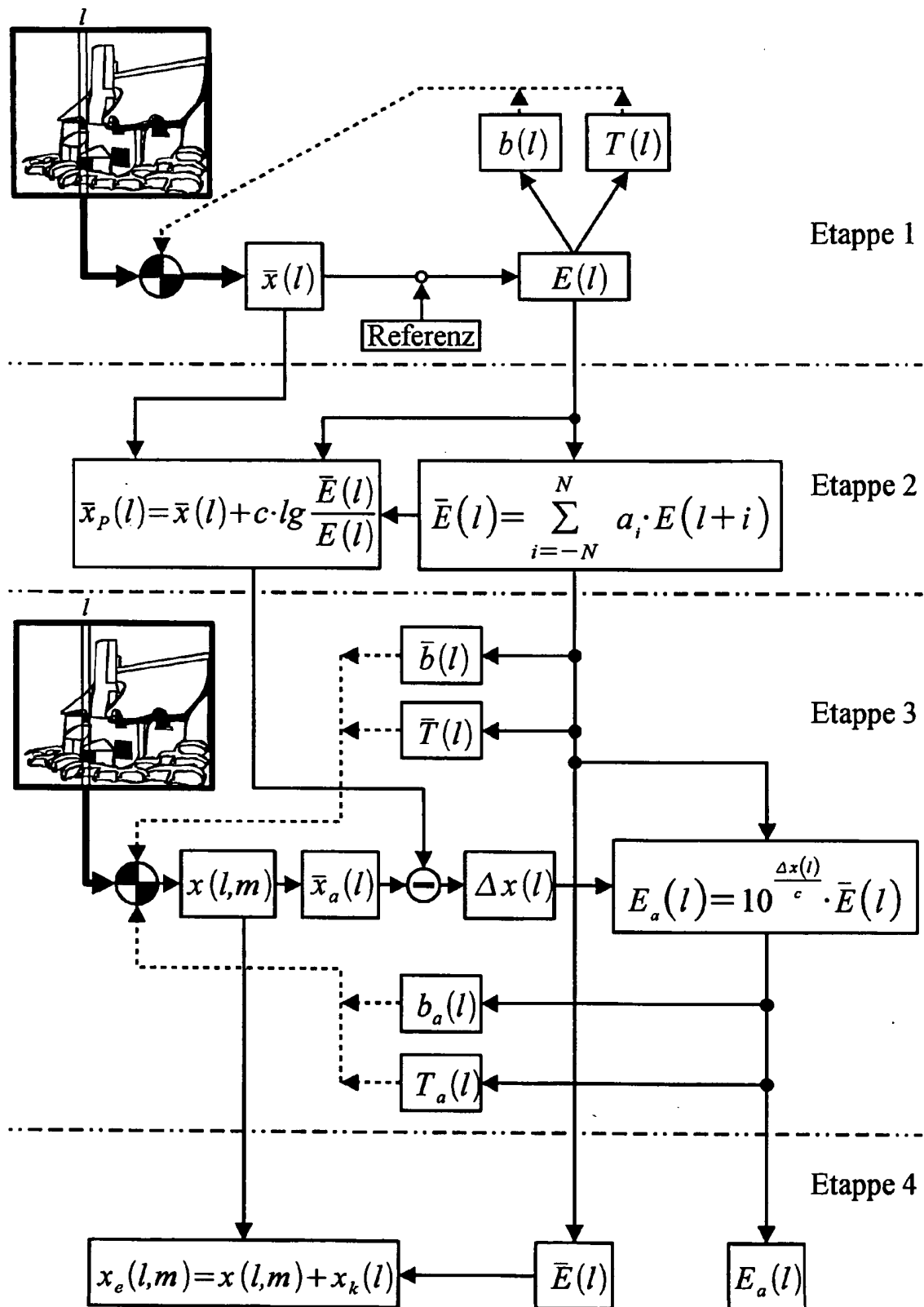
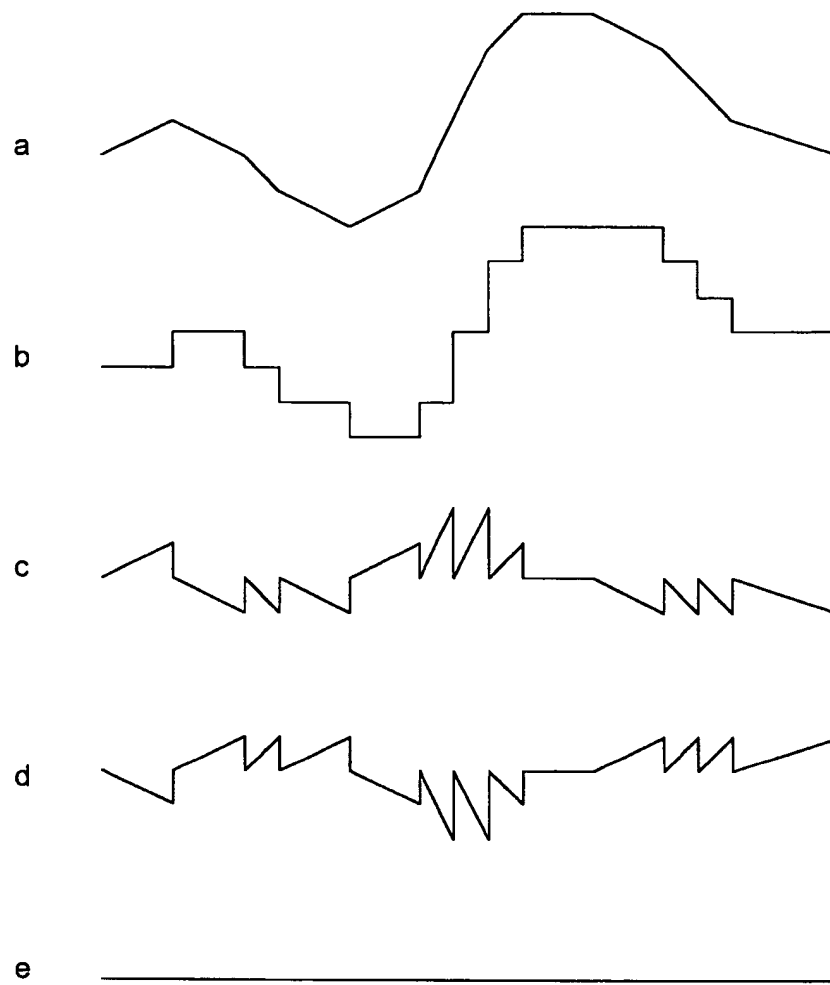


Fig. 2



**Fig. 3**